

50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau
von Makro bis Nano /
Mechanical Engineering
from Macro to Nano**

Proceedings

Fakultät für Maschinenbau /
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel
Dipl.-Ing. Helge Drumm
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.
Werner-von-Siemens-Str. 16
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Dipl. -Ing. J. Botiov / Dr. A. Albrecht, Prof. H. Wurmus, Dr. K-H. Drüe, Dipl.-Ing. M. Hintz

LTCC Technologie als Grundlage für mikromechanische Funktionselemente

Abstract

Modifikation des LTCC- Herstellungsverfahrens durch Si- basierte, anisotrop geätzte Prägewerkzeuge

LTCC (low temperature cofired ceramic) ist ein Material mit breiten technologischen Perspektiven sowohl in der Elektronik, als auch in der Mikrosystemtechnik. Die Möglichkeit hochintegrierte Module mit dieser Technologie herzustellen, bildet eine Voraussetzung für Anwendungen mit verbesserten Parametern und einem erhöhten Integrationsgrad der Funktionen. Durch den Einsatz der Mikrotechnik können Werkzeuge zur Bearbeitung der LTCC- Folien erstellt werden, mit denen eine Strukturierung in der Tiefe des Substrats erreicht wird. In diesem Artikel sind mit Hilfe der Mikrotechnik modifizierte LTCC- Prozesse zur Herstellung hochstromtragfähiger Induktivitäten und eine Methodik für die Dimensionierung dieser Induktivitäten hervorgehoben.

1.Stand der Technik

Die Dickschichttechnik ist ein typisches Verfahren zur Herstellung mikroelektronischer Schaltungen auf Basis von LTCC- Substrate. Es gibt Möglichkeiten, diese Herstellungsprozesse in einer Serien- oder Massenproduktion umzusetzen. Bei den Tendenzen, die Anzahl von passiven elektronischen Komponenten in den Schaltungen zu erhöhen, entsteht die Anforderung für eine höhere Packungsdichte und eine höhere Systemintegration der Elemente [1]. Die SMD Aufbau- und Verbindungstechnik wird gegenüber der Durchsteckmontage immer mehr bevorzugt im Hinblick auf ein höheres Automatisierungspotential. Durch die hohe Integration der Schaltkreiskomponenten und die niedrige Dielektrizitätszahl der LTC Keramik finden diese Materialien intensive Anwendung in der Elektronik. Der Bedarf an universellen SMD- Komponenten in der Leistungselektronik erfordert, diese Komponenten komplett in LTCC Technologie herzustellen. Für die Industrie in Bereichen wie z. B. Automatisierungstechnik werden diverse ASI- Controller (Aktor-Sensor Interface) entwickelt. Die Steuerung von kompletten Modulen der automatisierten Vorrichtungen erfolgt durch das „Master / Slave“ –Kommunikationsprinzip zwischen solchen Systemen, die sowohl direkt bei den konkreten Anwendungen auch auf eine Steuereinheit montiert sind.

Durch den in letzter Zeit zunehmenden Einsatz von solchen Steuermodulen in der Automatisierungstechnik, wird die Entwicklung von modularen Systemen weiterverfolgt. In diesem Zusammenhang soll die Spannungsversorgung für den ASI- Schaltkreis mit den Steuerungssignalen kombiniert werden. Notwendig dafür ist ein Induktivitätsmodul, das die aufmodulierten Steuersignale im Frequenzbereich 150-200 KHz bei relativ großen Strombelastungen (0,25; 0,5 A) übertragen kann. Dieses Induktivitätsmodul soll auch kleinere, von den ASI Schaltkreisen bestimmte, Bauvolumengrenzen nicht überschreiten. Der ASI Schaltkreis ist nicht die einzige Anwendung von solchen Spulen, die neben hohen Induktivitätswerten und hoher Strombelastbarkeit auch niedrige parasitäre Kapazitäten besitzen. Es gibt mehrere Bereiche in der Elektronikindustrie, die so ein Modul mit hochgenauen und hochreproduzierbaren Parametern und niedrigen parasitären Kapazitäten zur spezifischen Anwendung bringen.

2.Modifizierte LTCC Herstellungsprozesse

Die Erstellung von Leiterstrukturen auf LTCC- Substraten erfolgt mittels Siebdruck. Die dafür verwendeten Leiterpasten basieren auf Metallen mit niedrigen spezifischen Widerständen (Ag, Au, Pt). Die ohmschen Widerstände der realisierten Strukturen werden durch die aufgetragene Pastenschichtdicke und die Geometrie der Leiterbahnen bestimmt. Bei Modulen in der Leistungselektronik, die bei höheren Strombelastbarkeiten zuverlässig funktionieren sollen, entsteht neben der Anforderung für eine gute Wärmebeständigkeit auch die Forderung von möglichst minimalen Strukturwiderständen. Um diese Anforderungen beim Systementwurf solcher Strukturen bei einer hohen Packungsdichte zu erfüllen, ist es notwendig, das Design der Strukturen durch eine Modifikation in der Tiefe des Substrats zu ergänzen. Diese Strategie zur Reduzierung der Strukturwiderstände erweist sich als sinnvoll, weil eine Änderung der spezifischen Widerstände der Leitstrukturen in LTCC technologisch nicht mehr möglich ist.

Die Prozesse variieren im Zusammenhang mit dem verwendeten Leitermaterial. Kommerziell sind 2 Variationen verfügbar: Pasten auf Ag/ Au Basis und Pasten aus Ag/ Au- Photolack (Fodel ®). Die Leiterpasten werden durch Siebdruck auf die Substrate aufgetragen. Die Besonderheit beim „Fodel“- Verfahren ist, dass die Paste ganzflächig und nicht durch ein strukturiertes Sieb aufgebracht wird [7]. Gefolgt durch Lithografie und Entwickeln der belichteten Strukturen, basiert dieses Verfahren mehr auf konventionellen mikrotechnischen Prozessen. Mit diesem Verfahren ist die Abbildungsgenauigkeit der Leiterstrukturen höher als

bei dem klassischen Siebdruckprozess, was bei Anwendungen im Hochfrequenzbereich genutzt wird.

Der oberflächige Pastendruck liefert Flächenwiderstände $> 4 \text{ m}\Omega/\square$ bei einer Höhe der leitfähigen Schicht im gesinterten Zustand der Strukturen von 7 bis max. 20 μm . Diese Schichtdicken können durch einen mehrfachen Druck vergrößert werden, mit dem zusätzlichen Effekt, dass dann die Strukturauflösung verschlechtert wird.

Die LTCC Prozessmodifikation besteht im Einprägen von abzubildenden Strukturen mittels Si- basierter Prägewerkzeuge. Auf dieser Weise erhöht man die Leiterquerschnitte, was zu einer bis zu 4- 6 fachen Reduktion der Widerstände führt. Auf dem Bild 1 sind die modifizierte LTCC- Prozesse dargestellt.



Bild 1. Modifizierte LTCC Verfahren mit Ag- basierter und fotostrukturierbarer Paste

Die ungebrannten LTCC Folien lassen sich plastisch verformen, wobei für eine bessere Abformung eine zusätzliche Erwärmung für die Plastifizierung notwendig ist. Das Fließen des Materials in den Kavitäten des Si- Prägewerkzeuges ist Voraussetzung für die gute

Abformung. Nach einer Erwärmung des Substrats erfolgt der Prägeprozess bei einem optimalen Druck im Bereich 90 bis 120 MPa und einer Temperatur von 55- 65°C. Mit diesen Prozessparametern liegt die optimale Prozesszeit bei 5 min. Bei höheren Temperaturen sinkt die Viskosität des Polymerbinders in dem Tape und in Kombination mit der Kraftwirkung des Prägewerkzeugs und den oberflächigen Adhäsionseffekten führt das zur Rissbildung und zu oberflächigen Defekten durch eine schlechte Abtrennung vom Werkzeug. Als Merkmal für die Materialabformung kann der Radius der geprägten Strukturanten genommen werden. Die entstehenden Profile kann man mit einem Laserfokusmesssystem (F-a UBM) erfassen und die Prägeradien auswerten. Auf Bild 2 sind Abhängigkeiten zwischen Prägeradius und Kraftwirkung/ Temperatur dargestellt. Die optimalen Prozessparameter sind aufgrund dieser Abhängigkeiten definiert. Für den LTCC- Prägeprozess eignen sich die kommerziell verfügbaren 951 AX- Tapes von Du Pont mit einer Dicke des Materials in ungebrannten Zustand von 250 µm. Es wurden auch Versuche mit LTCC Materialien von Ceramtec und Heraeus durchgeführt.

Die Si- Werkzeuge wurden in Plasma- Ätzverfahren anisotrop geätzt (Bild 3c). Die erfolgten Prozessabläufe sind: SiO₂ -Maskierung auf einem 4“ Si- Wafer; Lithographie; Entwickeln; Oxidätzen in RIE; Ätzen von Si- Vertiefungen (ICP); Isotrop Nassätzen für die Profilierung der abformenden Geometrien (Verrundungen der Kanten und Abformungswinkel der Prägestrukturen) und Vereinzeln der Strukturen. Die Ätztiefe beträgt 100µm. Mit den optimierten Prozessparametern sind Prägetiefen bis um 90µm erreichbar. Es wurden Strukturen mit Strukturbreiten bis 10µm für die Evaluierung des Prägeverfahrens hergestellt.

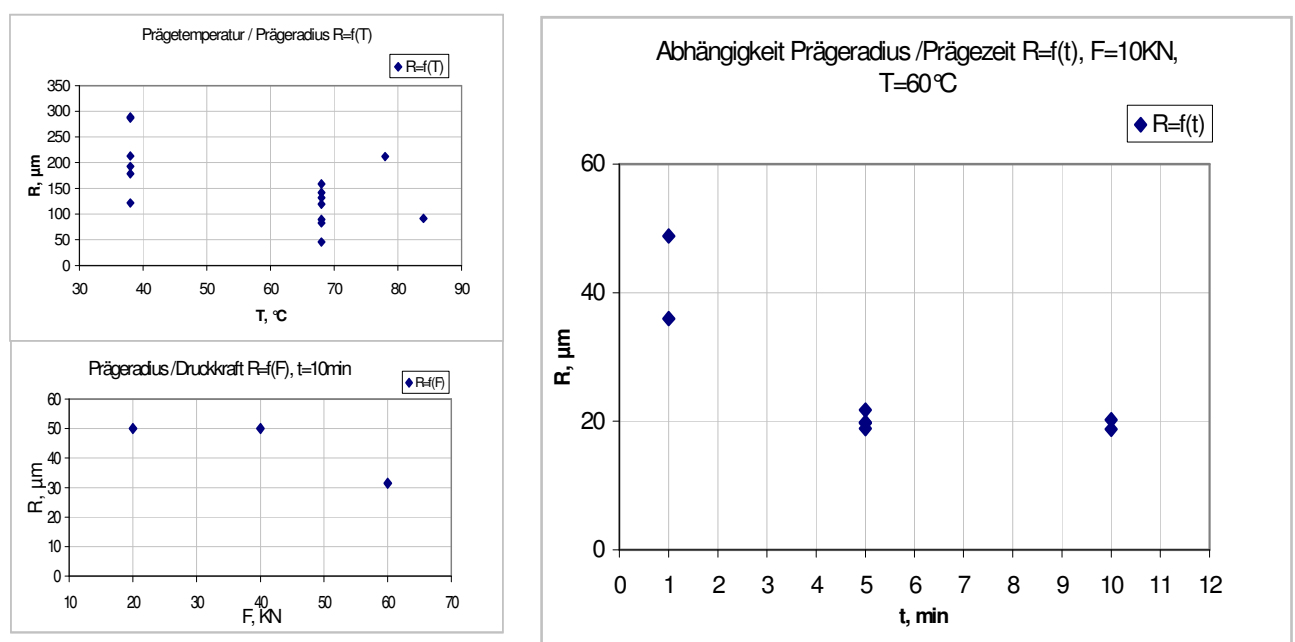


Bild 2. Abhängigkeiten – Radius der geprägten Strukturkante/ Temperatur, Prägekraft, Prozesszeit

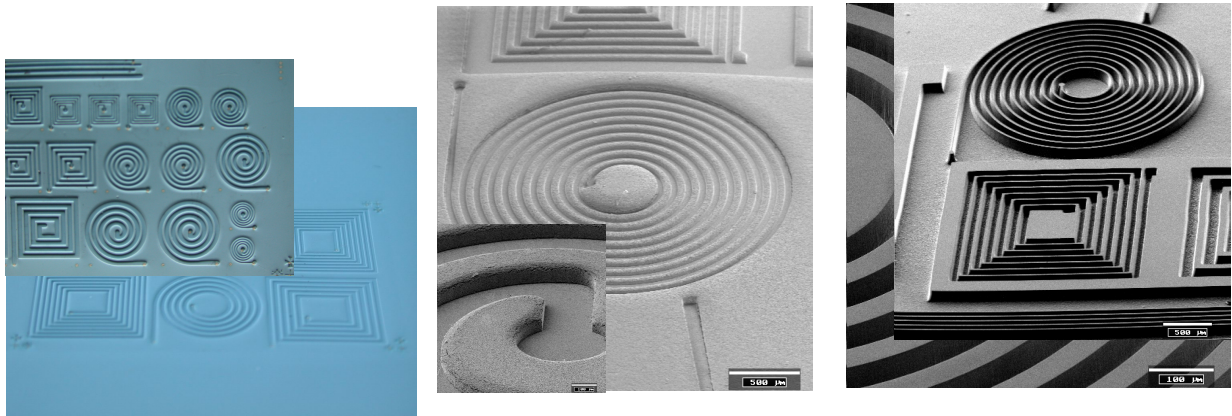


Bild 3. Si- basierte Prägewerkzeuge zur Abformung von Induktivitätsstrukturen in LTCC Substraten -c) und abgeformte Kavitäten a),b)

Zu den alternativen Technologien zur Herstellung von 3D- Strukturen in ungebrannten LTCC Folien zählen Laserverfahren und Aceton- Strahl Verfahren [4]. Das Aceton – Strahl Verfahren basiert auf dem Ätzen des organischen Binders des Materials. Das Substrat ist auf einem x-y- Tisch positioniert, und die Strukturierung erfolgt durch einen Ätzprozess mit Acetonstrahl. Allerdings sind bei diesem Prozess die Strukturgenauigkeit und die Oberflächenqualität sehr niedrig. Die Lasertechnik findet neben dem Stanzen einen sehr breiten Einsatz für die Bearbeitung von Grünfolien. Als Vorteile bei dem Verfahren können die hohe Flexibilität und kleine Prozesszeiten genannt werden. Nachteil ist, dass bei zu hohen Leistungen das Material im Schnittkantenbereich partiell sintern oder verglasen kann, was zu Komplikationen bei den folgenden Technologieprozessen führt. Beim späteren Sintern sind diese Materialbereiche kritisch und es besteht die Möglichkeit zur Bildung von Rissen und inneren Spannungen.

Im Vergleich zu dem Prägeprozess liefern diese beiden Methoden relativ niedrige Form- und Oberflächenqualität. Außerdem erfolgt die Abformung von einer beliebigen Geometrieconfiguration beim Prägen mit einem Prozessschritt auf dem gedruckten Tape, was die Produktivität des Verfahrens erhöht.

Das Befüllen der geprägten Strukturen mit Leiterpaste, die nicht photolithographisch strukturierbar ist (Du Pont 6145, basiert auf Ag- Partikel), erfolgt durch Druck mit einem strukturierten Sieb. Die Justage des strukturierten Siebes zum Substrat wird auf der Siebdruckanlage (Hersteller: EKRA) durchgeführt, wo mit einem Schritt die tiefgeprägten Strukturen befüllt werden. Wichtig dabei sind die eingestellten Prozessparameter, wie

Geschwindigkeit des Drucks (30 mm/s), Rakelkraft (60 N) und Absprung (0,7; 1,2 mm). Bei einem Absprung des Siebes von 0 mm bilden sich Überbrückungen zwischen den gedruckten Leiterbahnen, was besonders bei kleineren Strukturabständen die Funktionalität der Elemente stört. Zum Vermeiden von Lufteinschlüssen in der gedruckten Leiterschicht ist eine Relaxationszeit von 1-2 Std. nach dem Mischen und Rühren der Leiterpaste vorgesehen.

Das photolithographische Verfahren (Paste Du Pont 6453- Fodel®) basiert auf einem ganzflächigen Druck auf dem LTCC- Foliensubstrat (Bild4). Als nächster Technologieschritt folgt das Trocknen (5-7 min bei 75°C). Beim Belichten (UV- Quelle mit 360 nm für 1min) polymerisiert das Fotobindermaterial in der Leiterpaste, wodurch die Strukturgeometrien

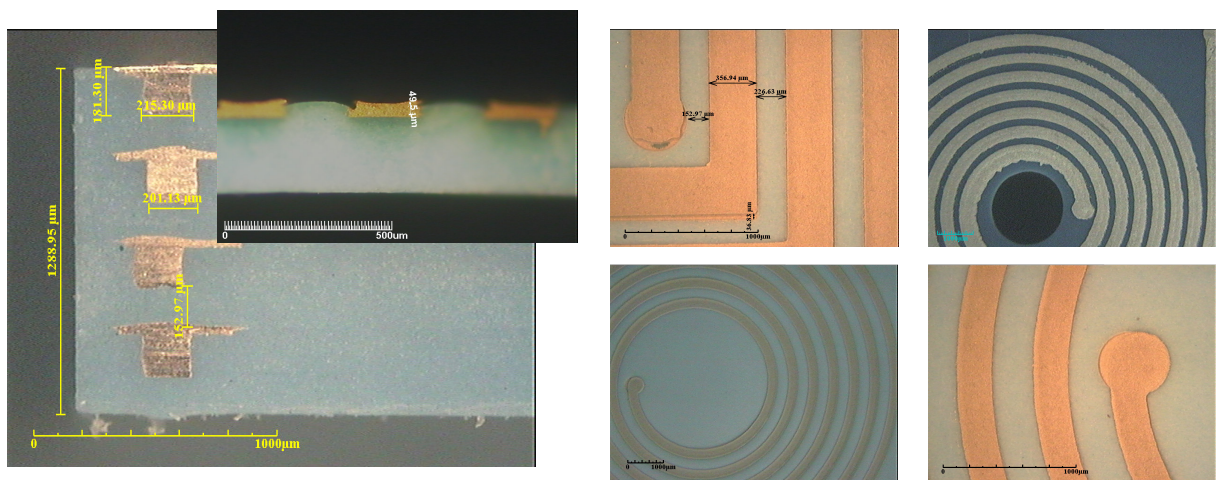


Bild4. Fodel- Induktivitätsstruktur vor und nach dem Sinterschritt. Die realisierte Leiterbahndicken sind um 28-50µm. Hohe Strukturgenauigkeit ist der grosse Vorteil bei dieser Technologie

definiert werden. Nach dem Entwickeln mit einer Sprühentwickleranlage und nach dem Trocknen sind die Strukturen fertig für die Justage und Lamination.

Um ein Parametervergleich zu schaffen, wurden Druck- und Sinterversuche mit geprägten und gefüllten Kavitäten und mit oberflächlich gedruckten Strukturen gemacht. Zur Untersuchung des Leitermaterialfüllfaktors entstand ein analytisches Modell, bei dem die geometrischen Parameter der Induktivitäten variiert werden können. Dadurch kann man die Vorteile der modifizierten LTCC- Prozesse abschätzen. Bei einer Kombination von Leiterpastendruck und Prägeverfahren erreicht man schließlich nach dem Sintern eine Erhöhung des Leitermaterialfüllfaktors von 6,5 bis 9% (Bild5). Dies führt zu einer Reduktion der Spulenwiderstände bis zu $0,6 \text{ m}\Omega/\square$, was eine günstigere Situation in Hinsicht Wärmeabfuhr und maximale Verlustleistung für diese Induktivitätsstrukturen als Bauelemente in leistungselektronischen Anwendungen definiert.

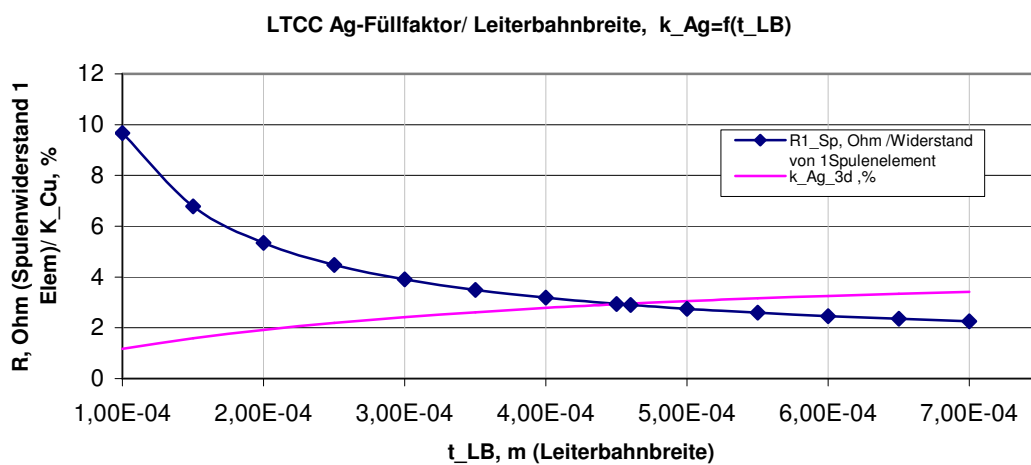
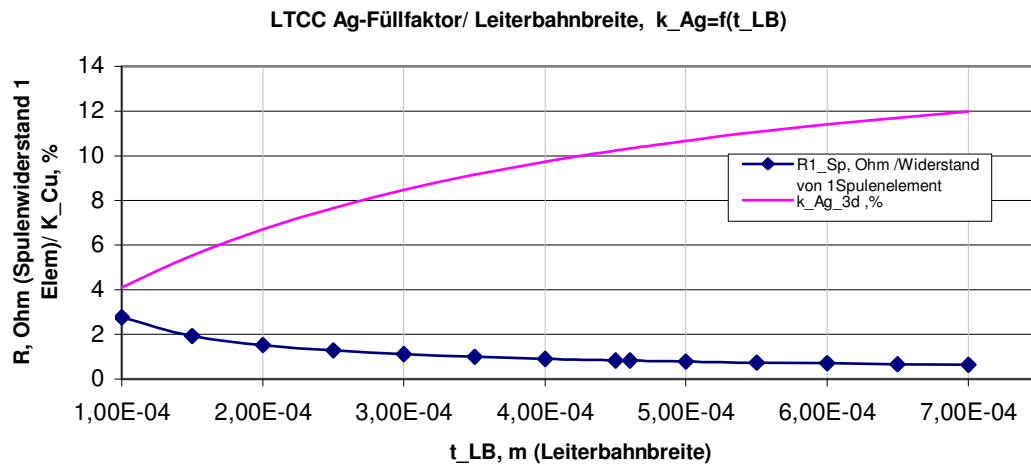


Bild 5. Modellieren des Leitermaterialfüllfaktors und der Widerstand für Pastendruck bei vorgeprägten Kavitäten im LTCC- Substrat (oben) und für oberflächigen Pastendruck (unten) . Bei einer Kombination von Prägen und Siebdruck erreicht man eine bis um das 4-6 fache Erhöhung im Vergleich zu dem herkömmlichen Verfahren.

3. Parametrisierung der LTCC- Induktivitätsstrukturen

Die Parametrisierung der Induktivitätsstrukturen im Entwurfsprozess kann analytisch, mit Netzwerkmethoden und mittels FEM- Modellbildung erfolgen. Die analytischen Methoden beruhen auf empirischen Koeffizienten und besitzen dadurch eine relativ große Unsicherheit der Ergebnisse. Für diese Berechnungen der Eigeninduktivität der Spulen kann die empirische Formel für plane quadratischen Spulen von Terman benutzt werden. Diese Kalkulationsmethode zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen in der Praxis bei einlagigen planaren Induktivitäten [5].

$$L_{LTCC_Sp} = \frac{2 \cdot \mu \cdot s}{\pi} \cdot N^2 \cdot \left[\ln \cdot \frac{s}{N \cdot p} + 0,2235 \cdot \frac{N \cdot p}{s} + 0,726 - \frac{A+B}{N} \right], H \quad (3.1)$$

$$\mu = \mu_o \cdot \mu_r;$$

$$\mu_o = 4 \pi \cdot 10^{-7}, H / m$$

L_{LTCC_Sp} ist die Induktivität der Parametrisierten Struktur (H)

N- Anzahl der Spulenwindungen; p – Abstand zwischen den Mittellinien der benachbarten Windungen; A und B sind geometrieabhängige Konstanten (empirische Koeffizienten); μ - absolute Permeabilität; μ_o , (H/m) – magnetische Feldkonstante (Permeabilität des Vakuums); μ_r - relative magnetische Permeabilität (Permeabilitätszahl); s ist das Außenabmass der Spulenseite: $s=(D_a+D_i)/2$, m, mit D_a und D_i Aussen- und Innenabmass/ Durchmesser ($L_{rund}=\pi \cdot L_{quad}/4$) der Mikroinduktivität.

Eine andere Berechnungsformel für die Induktivität der Spulen entsteht durch Transformation der von Wheeler publizierten Formel:

$$L_{LTCC_Sp_1Lage} = \frac{\left(\frac{D_{aus} + D_{inn}}{4} \right)^2 \cdot N^2 \cdot K_L}{k_{f1} \cdot \left(\frac{D_{aus} + D_{inn}}{4} \right) + k_{f2} \cdot \left(\frac{D_{aus} - D_{inn}}{2} \right)}, \mu H \quad (3.2)$$

, wo D_{inn} und D_{aus} Innen- und Aussenmass der Spule, K_L Dimensionsfaktor ($K_L = 1 \cdot 10^{-6}$ H/m) und k_{f1} , k_{f2} geometrische Faktoren sind.

Bei einer Reihenschaltung der Spulen (mehrlagige Spulen) ist die resultierende Induktivität die Summe von allen Eigen- und Gegeninduktivitäten (3.3). Für eine Spule mit $N_L=2$ gilt:

$$L_{LTCC_Sp} = L_1 + L_2 + L_{g12} + L_{g21} \quad (3.3)$$

Bei $L_1=L_2=L$, und $L_{g12}=L_{g21}=k \cdot L$ und die kleinen Abstände zwischen den verschiedenen Lagen, kann man einen Koppelfaktor $k=1$ im idealen Fall annehmen.

Mit dieser Annäherung ergibt sich: $L_{LTCC_Sp}=4 \cdot L$, bzw. für n Lagen gilt

$$L_{LTCC_Sp} = n^2 \cdot L$$

Bei Einbeziehung der von Wheeler modifizierten Formel erhält man eine Berechnungsformel für die Induktivitäten:

$$L_{LTCC_Sp_n_Lagen} = \frac{n_l^2 \left(\frac{D_{aus} + D_{inn}}{4} \right)^2 \cdot N^2 \cdot K_L}{k_{f1} \cdot \left(\frac{D_{aus} + D_{inn}}{4} \right) + k_{f2} \cdot \left(\frac{D_{aus} - D_{inn}}{2} \right)}, \mu H \quad (3.4)$$

, wo n_l Anzahl der Spulenlagen ist.

Diese analytischen Methoden können für eine Abschätzung der Eigeninduktivitäten benutzt werden, allerdings nur dann, wenn keine Kombinationen mit magnetisch

nichtlinearen Materialien vorhanden sind. Um eine Vergrößerung der Anfangsinduktivität zu erreichen, was z.B. für die ASI- Anwendungen notwendig ist, soll ein Aufbau in Kombination mit magnetisch nichtlinearen Strukturen erstellt werden. Um Spulen in Kombination mit Ferritstrukturen zu dimensionieren, greift man zu anderen Methoden wie die Netzwerk- und die FEM- Methode. Für mehrlagige Strukturen mit Flachanordnung zeigt sich die FEM- Methode als gut geeignet. Für die Modellbildung und die Berechnungen wurde die Software ANSYS® (elektromagnetics) verwendet. Die Konzipierung und Modellierung der Multilayer- LTCC- Spulen in Aufbau mit Ferritstrukturen erfolgt durch Angabe der b-h Kennlinie des Ferritmaterials (MF 196 von Tridelta).

Analytisch Berechnete Spulenparameter (2 Lagen)

Spule Var.	L Ohne Ferritschale, μH	Widerstand, Ω	Windungszahl pro Lage, n/2
1	1,24	0,521	7
2	1,24	0,347	7
3	1,52	0,459	7,75
4	1,52	0,683	7,75
5	0,6329	0,186	5
6	0,6977	0,249	5,25



Gemessene Spulenparameter (2 Lagen)

Spule Var.	L Mit Ferritschale, μH	L Ohne Ferritschale, μH	Widerstand, Ω	Windungszahl pro Lage, n/2
1	2,5	0,5	0,579	7
2	2,6	0,6	0,447	7
4	4,454	1,347	0,683	7,75
5	3,743	0,5988	0,186	5

Gemessene Spulenparameter 8-schichtige gesinterte Induktivitätsstrukturen mit vorgeprägten Kavitäten

Struktur Nummer	Widerstand, Ω / gemessen	Widerstand, Ω / berechnet	L, μH / gemessen	L, μH / berechnet	Windungszahl pro Lage, n/8
1	4,03	3,037	17,5	19,85	7
2	2,87	2,024	15,3	19,85	7
4	4,95	3,983	26,3	24,33	7,75
5	1,492	1,085	9,4	10,13	5
6	1,9	1,454	11	11,16	5,25

Gemessene Spulenparameter 8-schichtige gesinterte Induktivitätsstrukturen ohne vorgeprägten Kavitäten

Struktur Nummer	Widerstand, Ω / gemessen	L, μH / gemessen	L, μH / berechnet	Windungszahl pro Lage, n/8
2	7,3	27,1	19,85	7
3	9,68	45,2	24,33	7,75
5	7,23	10,5	10,13	5
6	5,22	14,6	11,16	5,25

Tabelle 1 a),b,c),d),e). Berechnete und gemessene elektrische Parameter der keramischen Spulen

4. Messungen und Vergleich mit Modellen

Im Rahmen des Technolgieedesigns wurden 2-, 4- und 8- schichtige Induktivitätsstrukturen in LTCC gesintert und ausgemessen.

Für die Messungen der Induktivitäten wurde ein RLC- Messgerät des Herstellers Grundig (digimess RLC 100) verwendet. In Tabelle 1 sind gemessene und berechnete Induktivitäts- und Widerstandswerte für Prototypen im 2- und 8- schichtigen Aufbau mit oder ohne vorgeprägte Kavitäten ersichtlich.

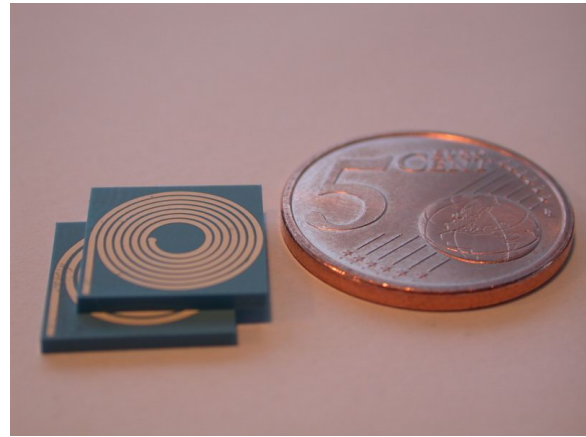
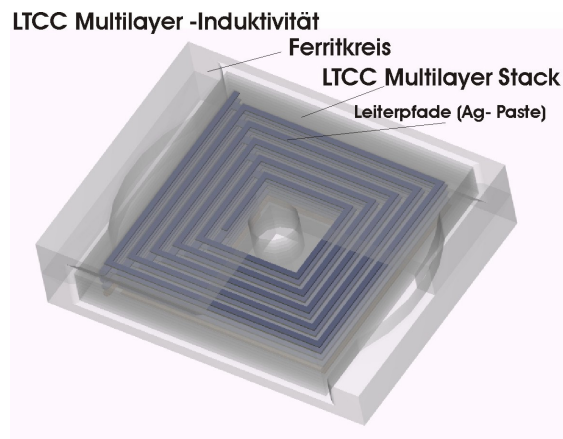


Bild 6. Konzept und gesinterte Muster einer 8-lagigen Induktivität auf LTCC- Basis

Aus den Messungen ist zu erkennen, dass eine Kombination der erstellten LTCC- Spulen mit Ferritkreisen zu einer 4- fachen Vergrößerung der Anfangsinduktivität führt. Außerdem reduzieren sich die Strukturwiderstände mit einem Faktor 4 und mehr, wenn der Prägeprozess genutzt wird.

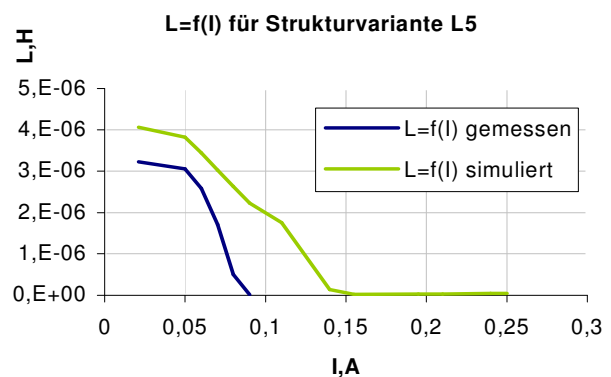
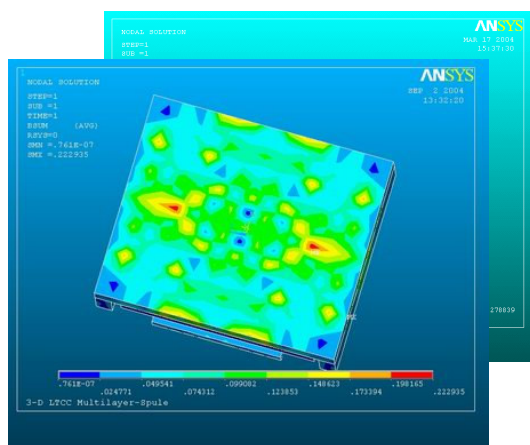


Bild 7. FEM- EM Simulation und Messergebnisse einer LTCC Induktivitätsstruktur mit Ferritschale in Bereich der Strombelastung 0 bis 0,3 A

Mit den erstellten FEM- Modellen wurden Simulationen durchgeführt und die Ergebnisse für die Induktivitätswerte mit den Messungen (durchgeführt bei STZ- Mechatronik Ilmenau) verglichen. Der Werteverlauf zeigt ähnliche Tendenzen und bildet eine Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode als Parametrisierungswerkzeug für Mikroinduktivitäten mit Ferritstrukturen.

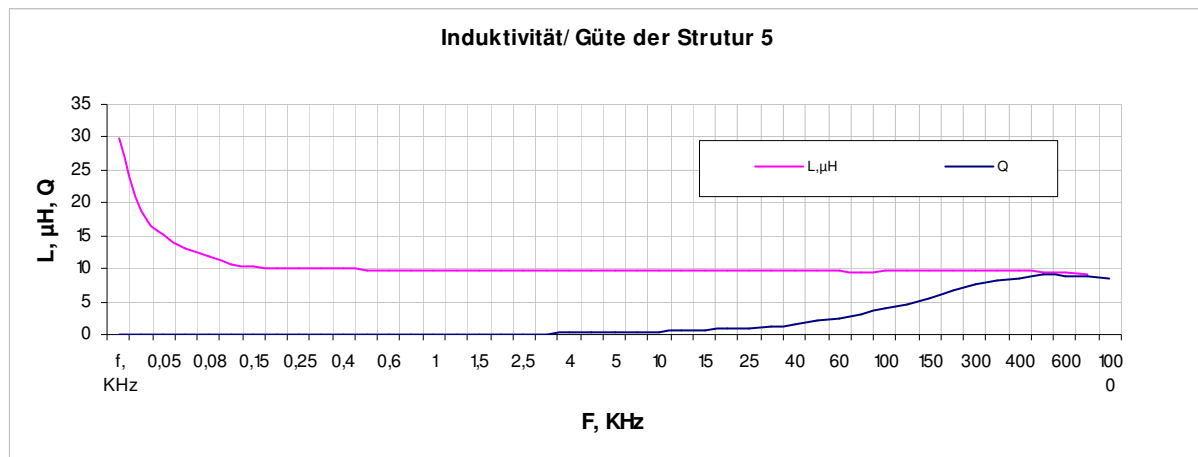


Bild 8. Güte und Induktivität einer LTCC- Spule mit 8 Layern in Frequenzbereich bis 1 MHz

Die Frequenzabhängigkeit der Induktivität der gesinterten Strukturen wurde mit einem RLC Messgerät von Hewlett- Packard im Bereich bis 1 MHz untersucht (4285A - Präzision- LRC – Meter).

5. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden modifizierte LTCC- Prozesse zur Herstellung hochstromtragfähiger Module in der Leistungselektronik auf Basis von LTCC- Substraten vorgestellt. Die verwendeten Prägwerkzeuge wurden mit mikrotechnischen Verfahren aus Silizium gefertigt. Die vorgeprägten Kavitäten in den LTCC- Folien ermöglichen eine deutliche Reduzierung der Widerstandswerte.

Eine gute Methode zur Parametrisierung der Induktivitäten mit Ferrit bietet die FEM- Modellierung. Änderungen des Luftspalts zwischen den Ferritelementen im Zusammenbau mit den LTCC- Spulen (Änderung des magnetischen Widerstandes des Systems) beeinflussen die Messung der Induktivität mehrlagiger Spulen stark. Diese Tendenz hat sich auch mit der Simulation bestätigt.

Mehrlagige Funktionsstrukturen in LTCC - Keramik haben besondere Bedeutung für die Sensorikentwicklung im Automobilbau und der Automatisierungstechnik. Die Einführung neuer Materialien, die bessere Temperatur- und Vibrationsbeständigkeit und dadurch bessere Zuverlässigkeit für die Module bieten, ist eine Forderung der Bauelementanwender.

Das Prägen als ein neuer Bestandteil der LTCC - Technologie eröffnet ein breites Spektrum für Anwendungen nicht nur im Bereich der Elektronik, sondern auch im Technologiefeld Mikrotechnik für mikrofluidische Applikationen. LTCC als Grundmaterial für aktive mikromechanische / mikrofluidische Strukturen bringt Vorteile bei Anwendungen, wo eine hohe Beständigkeit des Materials gegen aggressive Medien gefordert ist. Die Abformung der grünen Folien bietet die potentielle Möglichkeit zur Erzeugung hochauflösender (bis 50µm Strukturbreite bei 100µm Strukturabstand) kanalförmiger Strukturen zur Anwendung in der Mikrofluidik. Bei einem angepassten Laminier- und Sinterprozeß mit oder ohne sublimierenden Materialien, können diese Strukturen laminiert und anschließend gebrannt werden. Interessant bei aktiven mikrofluidischen Strukturen (Mikropumpen, Mikromembranen als Drucksensoren) auf LTCC- Basis ist eine Kombination mit PZT Keramiken.

Danksagung: Die Arbeiten wurden mit der Unterstützung vom BMBF gefördert. (Projekt MIKROSystem, Förderungsprogramm MST 2000+, BMBF/16SV1469)

Referenzliteraturstellen/ Quellenhinweise:

[1] GOLONKA L.J., DZIEDZIC A., KITA J., ZAWADA T.

LTCC integral passive components, Proc. IMAPS Nordic 38th Annual Conference, Oslo (Norway) Sept. 2001, pp. 312-315.

[2] A. Albrecht, J. Botiov, M. Fischer, K.-H. Drüe, M. Hintz, U. Schmidt*, H. Thust, H. Wurmus

Technische Universität Ilmenau,

Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien Ilmenau/ *Institut für Werkstofftechnik, Germany

Alternative Ansätze zur Herstellung hochstromtragfähiger Leiter in LTCC

Proc. IMAPS 2003 München, DE

[3] Ronniger, Rainer

Verfahren zur Bearbeitung von Grünfolien und Laminaten- Verfahren der keramischen Mehrlagentechnik: Stand und Zukunftsperspektiven- Forschungsberichte der deutsche keramische Gesellschaft- Band 18 (2004) Heft1, ISSN 0173-9913

[4] Jaiyung Park, Patricio Espinoza-Vallejos , Luis Sola- Laguna, and Jorge Santiago-Aviles,

Etching and Exfoliation Techniques for the Fabrication of 3-D Meso-Scales Structures on LTCC Tapes *University of Pennsylvania*, Dep. of Electrical Engineering, Philadelphia, PA, 19104

(215)898-5167, (215)573-2068, santiago@pender.ee.upenn.edu

DuPont Experimental Station, Photopolymers and Electronic Materials Dept. Wilmington, DE

(302)695-8151, (302)695-8151, solalm@esvax.dnet.dupont.com - Du Pont Technical Paper

[5] Ullerich, Stella

Herstellung und Charakterisierung ein- und mehrlagiger flexibler Mikrospulen für medizinische Telemetrieapplikationen, Diss. 2001, Hochschule Aachen

[6] Ansys® electromagnetics -Reference guide

[7] Terry R. Suess and Michael A. Skurski

Fodel®, Photoprintable Thick Film; Materials and Processing DuPont Company

14 I. W. Alexander Drive; RTP, NC 27709-4425

Autorenangabe(n):

Dipl.-Ing. Julian Botiov

Technische Universität Ilmenau/ Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN), Gustav-Kirchhoff-Str. 7
98693, Ilmenau/ Thür.

Tel.:

Fax:

E-mail: julian.botiov@tu-ilmenau.de